

光照对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响

欧黄思, 梁华芳

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 为了解光照对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)幼体发育和存活率的影响, 作者在研究中设定了4种单色光(红、黄、蓝、绿光)及不同光照强度(0、1 500、5 500、12 000 lx)进行实验并就光照对幼体产生的影响进行分析。实验表明: 4种单色光对幼体发育变态时间和成活率都有较大影响。幼体从Z₁变态发育至仔虾P1, 蓝光的幼体发育时间最长, 为262.83 h, 比对照组多28 h; 黄光存活率最低, 只有14.49%, 比对照组低25.00%, 差异显著($P < 0.05$)。同时, 凡纳滨对虾幼体在不同的发育阶段对不同光色的敏感度不同, 红光和黄光只对溞状幼体变态有较明显的抑制作用, 但对糠虾幼体的发育却有促进作用; 蓝光和绿光对整个发育阶段都有影响。光照强度对幼体的存活和变态影响差异显著($P < 0.05$)。幼体从Z₁发育至P1, 12 000 lx光照下幼体变态发育耗时最长(257.33 h), 存活率最低(1.63%)。在溞状幼体期, 光照大于1 500 lx时, 幼体的变态时间增加, 存活率下降。糠虾幼体期可适应光照在5 500 lx以下的环境, 而仔虾期则可适应120 000 lx的光照。建议根据不同发育阶段调整光照强度, 当幼体在Z₁时, 光强应控制在1 500 lx以下, 之后可逐渐增强。本实验结果可为凡纳滨对虾育苗期间的光照管理提供基础数据和理论依据。

关键词: 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*); 光照强度; 光色; 幼体

中图分类号: S968.22 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)03-0055-06

DOI: 10.11759/hyxx 20160128002

随着中国凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)养殖规模的迅速扩大, 虾苗的需求量也越来越大。目前南方地区虾苗的培育主要在室内进行, 但在夏季, 越来越多的对虾育苗场开始尝试室外育苗, 有研究认为室外培育的凡纳滨对虾虾苗, 幼体发育速度快、变态整齐、虾苗活性好、体质强壮, 相比室内育苗有一定的优势^[1]。在对虾养殖当中, 不同光照对对虾的行为活动^[2-5]、摄食和生长发育^[6-14]等产生影响。对虾幼体主要依靠复眼来完成摄食, 光照是对其摄食能力造成影响的主要因素^[4]。在虾苗培育生产中, 根据幼体的生理特点和生态需要, 提供相应的生活条件, 可以提高存活率、缩短培育时间。目前国内关于光照对凡纳滨对虾幼体影响的研究较少, 本研究在不同光色和光强条件下, 探讨了光照对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响, 为凡纳滨对虾的育苗技术提供合理的光照参数。

1 材料与方法

1.1 材料

实验幼体来自湛江市中联养殖有限公司省级对

虾良种场, 由美国 SIS 公司亲虾繁殖的刚孵出的无节幼体。无节幼体培育密度约 200 000 只/m³。

实验用海水是由外海同一次潮水抽入, 经沉淀、砂滤的自然海区海水, 海水盐度为28~30, pH为8.0~8.2。经沉淀过滤后的海水再用布过滤袋过滤后加注到经高锰酸钾消毒的育苗桶内, 加甲醛溶液(20 mL/m³)停气消毒24 h, 再曝气(24~48 h)后投放幼体。

幼体饵料为八卦牌高级虾片、富达藻粉、博尚珍珠 B.P、车元和卤虫(*Artemia salina*)无节幼体等。

不同光源: 市售上海亚致的36 W的红光、黄光、蓝光和绿光 LED 灯和飞利浦牌400 W金卤灯。

照度计: 上海学联仪器厂生产的ZDS-10型照度计(相对视值误差: ±4%)。

收稿日期: 2016-01-28; 修回日期: 2016-04-25

基金项目: 广东省海洋与渔业科技推广专项(A201208B03, B201400B18)
[Foundation: Science and Technology Promotion for Marine Fisheries of Guangdong Province, No. A201208B03, B201400B18]

作者简介: 欧黄思(1989-), 男, 广东高州人, 硕士研究生, 主要从事甲壳动物种苗繁育研究, E-mail: 313297982@qq.com; 梁华芳, 通信作者, E-mail: hfliang@126.com

1.2 实验方法

1.2.1 光色对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响

实验幼体于 100 L 白色不透明塑料水桶中培育, 培养桶置于养殖水泥池(长: 宽: 高=6 m: 4 m: 2 m) 中, 用黑色遮光布遮挡干扰光线。设红、黄、蓝、绿 4 种光色处理组及 1 个不加灯的对照组, 每组设 3 个平行。4 种光色的波峰波长及幼体密度分别为: 红光(上海亚致-36 W; 波峰波长 625 nm), 幼体密度为 14.78×10^4 尾/ m^3 、黄光(上海亚致-36 W; 波峰波长 580 nm), 幼体密度为 14.56×10^4 尾/ m^3 、蓝光(上海亚致-36 W; 波峰波长 435 nm), 幼体密度为 14.89×10^4 尾/ m^3 和绿光(上海亚致-36 W; 波峰波长 525 nm), 幼体密度为 14.44×10^4 尾/ m^3 , 光照强度为(400±50) lx, 空白对照组不加灯, 每个光色处理设 3 个重复。光照周期为 14L: 10D(电源开关由电子定时器控制, 18: 00 开灯, 次日 8: 00 关灯)。实验水温 $31^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$, 盐度 28。

1.2.2 光照强度对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响

实验幼体于 0.3 m^3 水体的不透明玻璃钢养殖桶中培育。将培养桶置于室内水泥池(长: 宽: 高=6 m: 4 m: 2 m)中, 用黑色遮光布遮挡外来光源。照明光源采用金卤灯(亚明-400 W), 实验通过调整照射距离和各灯相对位置控制光照强度, 设置 4 个梯度: 0±0、1 500 lx±500 lx、5 500 lx±1 000 lx、12 000 lx±2 500 lx。每一处理设 3 个重复, 光照周期为 14L: 10D。

实验水温控制: 由于金卤灯发热较强, 会使培育水体温度上升, 实验设计在每个实验桶中放置用 2 m 铝合金管($\Phi 2.5$ cm)弯成螺旋成的导热管, 用串联的方式将所有桶连起来, 用 750 w 的水泵抽水循环, 以控制各实验组水温保持一致, 即 $30.0^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

1.3 数据记录及处理

每个发育期完成变态后进行计数, 并记录变态

的时间。以无节幼体变态为 Z 幼体的变态率高于 90% 变作为时间记录点。以幼体变态率达 100% 作为幼体数量的记录点, 记录时用 100 mL 烧杯从培育桶的不同位置随机取样, 每次取 3 杯计算平均值。数据的整理用 Excel 2007 软件进行; 对实验数据进行方差齐性检验并分析检验其差异显著性用统计软件 SPSS(Statistical Product and Service Solutions)20.0, 设 $P < 0.05$ 为差异显著。

各实验组在投放无节幼体的次日 18: 00 开始出现溞状幼体, 19: 00 全部发育到溞状一期, 当天 18: 00 开始加光照, 第二天 10: 00 计算记录存活数量。

2 结果

2.1 光色对凡纳滨对虾变态发育的影响

2.1.1 不同光色对幼体的变态发育时间的影响

表 1 给出不同光色培育下各组凡纳滨对虾幼体的变态持续时间。Z 表示溞状幼体期, M 表示糠虾幼体期, P 表示仔虾。不同光色下对虾幼体变态发育的时间是有差异的, 各组间幼体 Z -P1 的时间比较: 黑暗对照 < 黄光 ≤ 红光 < 绿光 < 蓝光。Z → Z 期, 幼体受到黄光和红光的影响最大, 尤其在 Z 期, 黄光组的幼体变态发育时间最长为 67 h, 差异显著 ($P < 0.05$), 对照组的对虾幼体变态发育的时间最短, 只有 40.17 h, 与其他组的差异显著 ($P < 0.05$), 说明在溞状幼体期 4 种单色光对幼体变态有抑制作用。M → M 期, 红光对幼体的变态发育时间最短 ($P < 0.05$), 但 M → M 出现生长减缓, 不能持续促进幼体生长发育。其次是黄光 ($P < 0.05$), 而蓝光和绿光组延迟幼体变态发育, 时间显著长于其他组 ($P < 0.05$)。M → P1 期, 蓝光对凡纳滨对虾幼体变态时间影响最大, 变态时间比其他组长 ($P < 0.05$); 黄光下和红光下有利于幼体变态发育, 变态时间比其他实验组显著缩短。

表 1 不同光色下凡纳滨对虾幼体的变态发育持续时间

Tab. 1 Duration of metamorphosis in *Litopenaeus vannamei* under different light colors

发育期	变态持续时间(h)				
	红光	黄光	蓝光	绿光	对照组
Z _I Z _{II}	60.50±0.87 ^B	67.00±1.74 ^A	48.50±0.866 ^C	49.67±0.58 ^C	40.17±0.29 ^D
Z _{II} Z _{III}	44.67±0.58 ^A	43.00±1.73 ^A	42.67±1.44 ^A	36.67±0.58 ^B	35.67±0.58 ^B
Z _{III} M _I	38.17±0.29 ^D	36.33±0.29 ^C	45.67±0.58 ^B	47.67±1.15 ^A	45.83±0.29 ^B
M _I M _{II}	28.67±1.1547 ^C	29.33±1.1547 ^C	31.33±1.1547 ^B	31.33±1.1547 ^B	39.33±0.58 ^A
M _{II} M _{III}	39.00±0.87 ^B	33.33±1.15 ^C	41.67±0.58 ^A	41.83±0.58 ^A	33.50±0.87 ^C
M _{III} P _I	30.83±0.29 ^D	32.17±2.02 ^D	53.00±0.58 ^A	49.67±1.15 ^B	39.67±0.58 ^C
Z _I P _I	241.83±0.58 ^C	241.17±0.58 ^C	262.83±2.89 ^A	256.83±0.58 ^B	234.17±1.44 ^D

注: 同行字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$); 字母相同表示差异不显著: A 为最大值(表 2、表 3、表 4 同)

2.1.2 不同光色对凡纳滨对虾幼体存活率的影响

表 2 是不同光色下凡纳滨对虾以无节幼体期(N)为基数的各发育期累计存活率。幼体变态发育至 Z 时, 红光下的幼体存活率最低, 显著低于其他组 ($P < 0.05$), 黄光、蓝光和绿光下幼体的存活率显著低于对照组 ($P < 0.05$), 黄光、蓝光和绿光组间比较, 差异不显著 ($P > 0.05$); 幼体 Z 和 Z 期时, 存活率最低的分别是红光组和黄光组, 黄光下幼体的存活率与

红光接近, 蓝光和绿光下幼体的存活率接近, 差异不显著 ($P > 0.05$)。M → P1, 发育到仔虾时, 单色光下各期凡纳滨对虾幼体的存活率都低于黑暗对照环境下幼体的存活率, 差异显著 ($P < 0.05$), 红光和黄光下的幼体的存活率差异不显著 ($P > 0.05$), 蓝光和绿光下幼体的存活率差异不显著 ($P > 0.05$), 各光色下幼体的存活率比较, 黑暗对照 > 绿光 ≥ 蓝光 > 红光 ≥ 黄光。

表 2 不同光色下凡纳滨对虾各发育期累计存活率

Tab. 2 Survival rate under different light color treatments in *Litopenaeus vannamei*

发育期	存活率(%)				
	红光	黄光	蓝光	绿光	黑暗对照
N	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
Z _I	56.36±4.75 ^C	67.46±4.71 ^B	67.64±5.98 ^B	73.05±5.86 ^B	86.57±5.52 ^A
Z _{II}	36.22±7.91 ^C	36.47±6.05 ^C	52.46±5.31 ^B	56.55±3.78 ^B	75.17±5.21 ^A
Z _{III}	32.83±7.83 ^C	29.59±3.99 ^C	46.93±5.63 ^B	50.81±2.93 ^B	68.87±4.10 ^A
M _I	28.99±5.35 ^C	19.74±3.43 ^D	41.58±3.62 ^B	47.01±4.65 ^B	59.5±5.72 ^A
M _{II}	24.54±5.95 ^C	18.19±2.68 ^C	39.45±4.32 ^B	44.7±5.72 ^B	54.51±4.10 ^A
M _{III}	21.5±5.62 ^C	15.21±2.26 ^C	32.91±5.90 ^B	39.29±4.60 ^{AB}	45.94±6.46 ^A
P1	18.46±5.38 ^C	14.49±2.91 ^C	26.22±3.66 ^B	26.57±2.43 ^B	39.49±3.68 ^A

2.2 光照强度对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响

2.2.1 不同光照强度对幼体变态发育时间的影响

表 3 显示了光照强度对凡纳滨对虾幼体发育持续时间的影响。溞状幼体期时, 光照对幼体的变态发育影响显著, 光强越高, 幼体变态发育越慢。Z → Z , 0 lx 组的幼体变态发育时间最短, 1 500 组与 0 lx 组比较, 差异不显著 ($P > 0.05$)。5 500 和 12 000 lx 组的时间显著比 0 lx 组长 ($P < 0.05$), 5 500 和 12000 lx 组间比较, 差异不显著 ($P > 0.05$)。Z → Z , 12 000 lx 组幼体变态发育时间最长, 差异显著 ($P < 0.05$), 0 和 1 500 lx 组间比较, 无显著差异 ($P > 0.05$)。Z → M , 光照条件下的变态时间都显著比黑暗对照长, 尤其 12 000 lx 组最长, 差异显著 ($P < 0.05$)。M → P1, 变态为糠虾后, 前期光照组的时间显著比黑暗对照组短 ($P < 0.05$), 到糠虾后期各组幼体变态发育时间差异不显著 ($P > 0.05$)。由结果分析, 在不影响幼体生长速度的前提下, 幼体对光强的适应的范围因发育阶段而异, Z 时在 1 500 lx 以下, Z → M 为 5 500 lx 以下, M 之后, 幼体的光强适应范围更广, 适应的光强可高达 12 000 lx。

2.2.2 不同光照强度对凡纳滨对虾幼体存活率的影响

表 4 是不同光强下凡纳滨对虾以无节幼体 V 期

(N_V)为基数的各发育期累计存活率。Z_I时, 12 000 lx 组幼体的存活率 72.36%, 显著低于其他组 ($P < 0.05$)。Z -Z , 光照强度越高, 存活率越低, 12 000 lx 组幼体的存活率最低, 显著低于 0 lx 组 ($P < 0.05$), 5 500 和 1 500 lx 组的存活率差异不显著 ($P > 0.05$)。M_I时期, 12 000 lx 组幼体的存活率由 Z_{III}的 30.42%下降至 6.56%, 溞状幼体变糠虾幼体时死亡较严重。其次是 5 500 和 1 500 lx 组, 5 500 和 1 500 lx 组幼体的存活率差异不显著 ($P > 0.05$), 0 lx 组最高 ($P < 0.05$)。M_{II}→M_{III}, 各组存活率都有所下降, 12 000 lx 组最低 ($P < 0.05$), 从 M_{III}到 P1 时, 12 000 lx 组幼体的存活率最高为 100%, 显著高于其他实验组 ($P < 0.05$), 说明从 M_{III}开始, 幼体可适应较强的光照。

3 讨论

3.1 光色对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响

光色会对对虾的脂肪酶的活性产生显著的影响^[12], 刘伟^[9]等在研究光色对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)稚虾的耗氧率昼夜变化节律的影响中发现, 蓝光下, 中国明对虾日平均耗氧率比自然光、黄光和绿光高且对虾的特定生长率显著偏低^[11], 蓝光对幼体可能也有类似的影响。本实验中, 无节幼体发育到

表 3 不同光照强度下凡纳滨对虾幼体的变态持续时间

Tab. 3 Duration of metamorphosis of *Litopenaeus vannamei* larvae under different light intensity treatments

发育期	变态时间(h)			
	12 000 lx	5 500 lx	1 500 lx	0 lx
Z Z	41.50±0.870 ^A	41.17±0.29 ^A	36.33±0.58 ^B	35.50±0.87 ^B
Z Z	47.33±0.57 ^A	37.33±2.31 ^B	34.50±0.87 ^B	33.67±1.15 ^B
Z M	54.67±0.58 ^A	44.33±1.15 ^B	45.67±0.58 ^B	39.67±1.15 ^C
M M	35.33±0.58 ^C	34.67±0.58 ^C	39.33±0.58 ^B	40.67±0.58 ^A
M M	37.17±2.02 ^{AB}	39.33±1.15 ^A	39.33±1.15 ^A	35.83±0.29 ^B
M P1	41.33±2.89 ^A	42.33±1.15 ^A	40.67±0.578 ^A	42.67±0.58 ^A
Z M	143.50±0.87 ^A	122.83±1.44 ^B	118.33±2.84 ^C	111.50±3.12 ^D
M P1	113.83±0.29 ^B	116.33±2.89 ^{AB}	119.33±1.15 ^A	119.17±1.44 ^A
Z P1	257.33±0.58 ^A	239.17±1.44 ^B	235.83±0.29 ^B	228.00±1.73 ^C

表 4 不同光强下凡纳滨对虾各发育期存活率

Tab. 4 Survival rate under different light intensity treatments

发育期	存活率(%)			
	12 000 lx	5 500 lx	1 500 lx	0 lx
N	100	100	100	100
Z _I	72.36±5.21 ^B	83.84±4.81 ^A	87.89±1.91 ^A	89.73±2.48 ^A
Z _{II}	52.12±12.70 ^C	71.51±2.27 ^B	75.75±2.69 ^{AB}	84.36±2.69 ^A
Z _{III}	30.42±10.03 ^C	41.73±4.13 ^{BC}	45.45±2.68 ^B	71.10±6.73 ^A
M _I	6.56±1.83 ^C	28.83±9.71 ^B	29.57±6.07 ^B	63.12±2.19 ^A
M _{II}	5.94±2.33 ^C	16.20±3.33 ^B	17.53±2.29 ^B	57.86±6.42 ^A
M _{III}	1.63±0.06 ^C	13.36±0.42 ^B	14.49±2.75 ^B	49.92±5.17 ^A
P1	1.63±0.06 ^C	7.53±2.42 ^B	8.50±1.20 ^B	35.80±2.57 ^A
Z _{III} M _I	23.06±9.7 ^B	69.10±21.45 ^A	65.12±13.30 ^A	89.12±5.81 ^A
M _{III} P1	100.00±0.00 ^A	56.55±18.76 ^B	61.11±20.03 ^B	72.16±8.27 ^B

仔虾的时间有差异,蓝光下幼体的总变态发育耗时最长,其次是绿光。推测凡纳滨对虾溞状幼体的复眼同样对蓝光较敏感,从而对幼体的生长发育产生影响。蓝光下幼体机能受到不利影响,生长滞后。同时,幼体在溞状幼体期时,红光和黄光对幼体的变态发育影响比蓝光大,幼体变态发育在溞状期时严重滞后;糠虾期时,蓝光对幼体的变态发育的影响仍然较大,幼体同样出现变态发育滞后的情况,但红光和黄光下的幼体则没有出现变态发育滞后的情况,可能是糠虾阶段的幼体对红光和黄光的敏感度发生变化,说明凡纳滨对虾幼体在不同的发育阶段,对不同色光的敏感度是不同的。Fanjul-Moles 等^[15]曾报道了克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)发育少于 4 星期的幼体只对蓝光敏感,发育 4 周后的个体才对红光有反应,表明虾类幼体对不同光谱感应是有阶段区别的。作者的实验结果与该结论类似。总之,红光和黄光对溞状期幼体是有害的,具体影响机制有待

研究,蓝光和绿光对幼体整个发育阶段都有影响,使幼体的生长发育减慢。

3.2 光照强度对凡纳滨对虾幼体变态发育的影响

自然环境中的光照强度是在不断变化的,晴天中午时的阳光可高达 9 000~12 000 lx,一般情况下为 2 500~5 500 lx。要在室外培育凡纳滨对虾虾苗,研究幼体在不同光照强度下的变态发育情况是很有必要的。实验采用金卤灯(飞利浦-400 W)作为光源进行照明,主要是因为相比其他光源,金卤灯的光谱更接近于太阳光线^[6, 16]。实验中统一投喂人工饲料为主,水色和透明度整体变化基本一致,尽可能避免干扰。分析整个育苗过程,光照强度对幼体存活率的影响是比较大的,实验中观察幼体在 12 000 lx 的强光照射下,溞状幼体的活性明显下降,幼体身体出现黏污,不拖便等现象,甚至出现死苗,说明幼体在

此光强下处于应激状态, 机体受到严重损伤。1 500 和 5 500 lx 组的溞状幼体情况比 12 000 lx 组好, 但幼体的活性仍有下降, 幼体在光照条件下活性都会受到影响。关灯后, 观察 1 500 和 5 500lx 组幼体活性情况良好, 在黑暗条件下幼体的活性有一定的恢复, 但 12 000 lx 组部分幼体仍处于活性较弱的状态。12 000 lx 光强下幼体培育到仔虾用时最长且存活率最低, 5 500 和 1 500 lx 组差别不大, 黑暗条件下幼体存活率较高。

幼体变态发育受到光强的影响主要是在溞状幼体期, 前期光强越高, 幼体的变态时间越长、存活率低。尤其在幼体由溞状幼体变态为糠虾幼体时, 12 000 lx 组存活率下降非常明显, 溞状幼体在 12 000 lx 强光下, 无法顺利变态成糠虾。光照强度对对虾的消化酶有影响, 黑暗和光照条件下, 对虾稚虾的消化酶(蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶)活性有显著的差异^[14], 另外, 已有研究证明光照强度会对对虾稚虾的生长产生显著影响^[8, 13], 光照会对对虾机体会产生一定的胁迫, 使机体产生一定的应激。对虾幼体期时, 光强对其产生的影响可能更大, 影响幼体的摄食、消化吸收及生长发育, 甚至导致幼体死亡。

但光照对幼体的生长不是一直有害的, 且幼体对光强的适应性会随生长增强, 糠虾期时, 光照对幼体的变态发育的影响差异较小, 且在光照条件下, 幼体的变态时间相比黑暗对照组有所缩短。M → M₁, 5 500 和 1 500 lx 组幼体的变态发育时间和存活率差异都不大, 幼体对光的适应范围逐渐增加, P1 时各组间变态发育时间没有显著差异, 12 000 lx 光强下, 幼体仍可以适应并正常生长。P1 时光照组存活率显著低于黑暗对照组, 主要是因为溞状幼体期幼体存活率显著下降的缘故。

胡贤德等^[11]通过研究激光辐照对凡纳滨对虾幼体的影响发现, 通过激光辐照后, 幼体对生活环境的抗逆境能力、抗病害力有一定的提高。在育苗过程中, 提供一定范围的光照刺激可以提高虾苗的体质, 同时, 若在自然光下, 能有效杀灭一些病毒细菌, 而且水体中的藻类更容易培养起来, 有利于保持良好的水质, 培育出体质好的虾苗。总之, 在培育凡纳滨对虾幼体时, 应根据不同发育阶段调整光照。建议幼体在 Z 时, 光强应控制在 1 500 lx 以下, Z → M 时, 光强控制在 5 500 lx 以下, 到糠虾期后, 幼体可适应的光强范围更大, 光强可控制在 5 500 ~ 12 000 lx。

参考文献:

[1] 梁华芳. 南美白对虾室外育苗的初步试验[J]. 水产

科学, 2003, 22(2): 32-34.

Liang Huafang. Preliminary experiment on rearing *Litopenaeus vannamei* larvae outdoors[J]. Fisheries Science, 2003, 22(2): 32-34.

[2] 马盛群, 李爱顺, 周国勤, 等. 青虾(*Macrobrachium nipponense*)幼虾趋光性初步研究[J]. 淡水渔业, 2014, 44(5): 27-30.

Ma Shengqun, Li Aishun, Zhou Guoqin. Preliminary study on phototaxis of juvenile *Macrobrachium nipponense*[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(5): 27-30.

[3] 林小涛. 不同光周期条件下罗氏沼虾幼体摄食量及发育的研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 13-19.

Lin Xiaotao. Influence of photoperiod on food consumption and development of *Macrobrachium rosenbergii* larvae[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1997, 28(1): 13-19.

[4] 陈楠生, 罗日祥. 中国对虾摄食行为的化学感觉生理学研究——中国对虾化学感受器的发育过程[J]. 海洋科学, 1996, 1(4): 53-56.

Chen Nansheng, Luo Rixiang. Chemosensory physiological studies on the feeding behavior in the shrimp *Penaeus chinensis* O' sbeck—the development of chemosensory organs[J]. Marine Sciences, 1996, 1(4): 53-56.

[5] 许燕, 袁维佳, 赵云龙, 等. 不同波长光照对日本沼虾视觉的影响[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2003, 32(3): 76-78.

Xu Yan, Yuan Weijia, Zhao Yunlong, et al. Influence of light wavelength on the vision of the *Macrobrachium nipponenses*[J]. J Shanghai Norm Univ(Nat Sci), 2003, 32(3): 76-78.

[6] 游奎. 不同光源及光照时间对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 1-5.

You Kui. Effect of different light source and light application time on free astaxanthin concentration and growth of shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 2005, 29(5): 1-5.

[7] 郭彪. 光照和温度波动对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)蜕皮和生长的影响及机制的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.

Guo Biao. The effects of light and temperature fluctuations on the molting, growth of *Litopenaeus vannamei* and its mechanisms[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.

[8] 王芳. 光照对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)生长的影响及其机制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.

Wang Fang. Effects and mechanism of light on the growth of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2004.

[9] 刘伟. 光色对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)稚虾耗氧率昼夜变化节律的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2011, 1(3): 27-31.

Liu Wei. The effect of light colour on the diel rhythm of oxygen consumption rate in juvenile Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011, 1(3): 27-31.

[10] 游奎, 杨红生, 刘鹰, 等. 不同光源及光照时间对凡

- 纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)游离虾青素含量及生长的影响[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(4): 296-301.
You Kui, Yang Hongsheng, Liu Ying. Effect of different light source and light application time on free astaxanthin concentrations and growth of shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(4): 296-301.
- [11] 胡贤德, 王慧, 郭振华, 等. 激光辐照对凡纳滨对虾幼体生长发育的影响[J]. 激光杂志, 2009, 30(3): 69-71.
Hu Xiande, Wang Hui, Guo Zhenhua. Effects of laser irradiation on the larvae of *Litopenaeus vannamei*[J]. Laser Journal, 2009, 30(3): 69-71.
- [12] 林小涛, 杞桑. 光周期条件对罗氏沼虾幼体存活率及体长生长率的影响[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 1996, 17(1): 69-73.
Lin Xiaotao, Qi Sang. Influence of photoperiod on survival and growth of *Macrobrachium rosenberaii* larvae[J]. Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition), 1996, 17(1): 69-73.
- [13] 王芳, 张建东, 董双林, 等. 光照强度和光照周期对中国明对虾稚虾生长的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(5): 768-772.
Wang Fang, Zhang Jiandong, Dong Shuanglin. The effects of light intensity and photoperiod on the growth of juvenile *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2005, 35(5): 768-772.
- [14] 王芳. 光照对中国对虾稚虾 3 种消化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 1028-1032.
Wang Fang. Effects of light on specific activities of three digestive enzymes in juvenile Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 1028-1032.
- [15] Fanjul-Moles M L, Miranda-Anaya M, Fuentes-Pardo B. Effect of monochromatic light upon the erg circadian rhythm during ontogeny in crayfish (*Procambarus clarkii*)[J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A Physiology, 1992, 102(1): 99-106.
- [16] 张志刚, 楼润瑜, 朱浩冰. 金属卤化物灯工作原理及其紫外防护[J]. 科技创新导报, 2010, 31: 247-248.
Zhang Zhigang, Lou Runyu, Zhu Haobing. Working principle of the metal halide lamp and UV protection[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010, 31: 247-248.

Effect of light on the larval metamorphosis of *Litopenaeus vannamei*

OU Huang-si, LIANG Hua-fang

(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Received: Jan. 28, 2016

Key words: *Litopenaeus vannamei*; light intensity; light color; larvae

Abstract: In order to study the effects of light on larval development and survival of *Litopenaeus vannamei*, four colors of light (red, yellow, blue, and green) and four different light intensities (0, 1 500, 5 500 and 12 000 lx) were designed, and the effects were evaluated systematically. The results showed that four colors of light have great impacts on *L. vannamei* larval metamorphosis. Under blue light conditions, the time span of Z₁ (zoea I stage) larval development to P1 (postlarvae 1) was the longest (262.83 h), 28 h longer than that of the control group. When given yellow light, the larvae exhibited a survival rate of 14.49%, which was 25.00% lower than that of the control ($P < 0.05$). In addition, shrimp larvae at different stages demonstrated different sensitivities to colored light. Red and yellow light could inhibit larval development at their zoea stage, but could promote larval development at the mysis stage, and blue and green lights had impacts on the entire developmental stage. A significant difference ($P < 0.05$) in larval survival and metamorphosis was observed among the four light intensity gradients. Larvae in the 12 000 Lux group experienced the longest development time (257.33 h) from Z₁ to P1 and had the lowest survival rate of 1.63%. At the zoea stage, when the light was higher than 1500 lx, the duration of larvae metamorphosis increased, while the larval survival rate decreased. Larvae at the mysis stage could develop successfully under a light intensity of 5 500 lx, and the post larvae could adapt to a light intensity of 12 000 lx. In conclusion, the light intensity should be adjusted appropriately according to the larval phase of development; it is better to maintain the light intensity lower than 1 500 lx while larvae are at the Z₁ stage, and this index can be increased gradually over time.

(本文编辑: 谭雪静)